

瑞能半导体 高压可控硅产品及其应用

作为可控硅领域的领导者，瑞能半导体与近期成功推出了 1200V - 1600V 的高压可控硅。这些产品主要用于各种工业产品中，像不间断电源（UPS），固态继电器（SSR），能量存储和电池充电等领域。在这些领域中，由于可控硅工作在严酷的电磁环境中，因此要求可控硅具有高的关断阻断电压和导通时优异的浪涌电流处理能力。

作者：瑞能半导体科技股份有限公司 胡爱斌，谢丰

1. 瑞能半导体高压可控硅简介

可控硅，又称作 SCR，是 Semiconductor Controlled Rectifier 的简称。可控硅是一种具有四层 P-N-P-N 结构的半导体开关器件，具有两个稳定的工作状态：高阻抗、低电流的关断状态和低阻抗、高电流的导通状态。SCR 是一种电流控制型的开关器件，主要用在交流电路中。SCR 可以承受正向和反向的阻断电压，并在施加门极触发电流后导通正向电流。SCR 典型的电流 - 电压特性曲线如图 1 所示。其反向特性类似于一个 PN 结二极管。当反向电压超过其反向额定电压 V_{RRM} 后会进入雪崩击穿区域，在实际应用中要避免工作在此区域。在正向偏置的状态下，通过施加门极触发电流或者当正向偏置的电压超过正向额定电压 V_{DRM} 后，SCR 会从正向关断状态进入正向导通状态，我们称这个过程为触发导通。在实际的应用过程中，SCR 主要是通过门极触发电流控制导通，要尽量避免正向偏置的电压超过正向额定电压 V_{DRM} 而导通的情况。

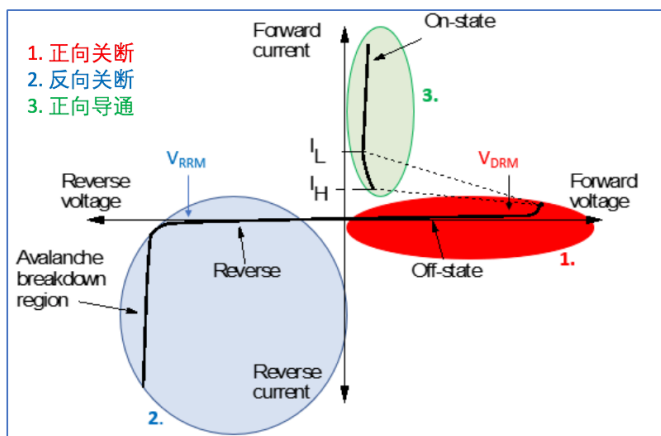


图 1: SCR 典型的电流 - 电压特性曲线

表 1 给出了瑞能半导体 1200V - 1600V 高压可控硅产品系列以及关键参数概览。由于采用了先进的平面制程钝化工艺，瑞能半导体全系列的 SCR 的最大结温达到 150 °C，确保器件在高温下长期可靠的工作。该 SCR 产品系列额定平均电流 $I_{T(AV)}$ 在 50A - 80A 之间，其额定电流下的导通压降均小于 1.5V，外形为标准的 TO247 或者 TO3P 封装。这些特点确保该 SCR 产品系列具有优异的电流处理能力和良好的散热能力，因此在实际工作时具有更低的温升。 I_{TSM} ，SCR 在正向导通时的最大的正向浪涌电流，是 SCR 应用时的关键参数。我们 1200V - 1600V 高压可控硅系列 I_{TSM} 值均为其额定平均电流 $I_{T(AV)}$ 的 10 倍以上，确保 SCR 在工作时具有更高的浪涌电流承受能力。

Part Number	V_{DRM}/V_{RRM} (V)	$I_{T(AV)}$ (A)	I_{TSM} (A) @ $t_p=10ms$	V_T (V) maximum value	$I_{GT(max)}$ (mA) maximum value	$T_{j(max)}$ (°C)	Package
BT155W-1200T	1200	50	650	1.30V @ 50A	50	150	TO247
BT158W-1200T	1200	80	1100	1.35V @ 80A	70	150	TO247
TYN60K-1400T	1400	60	750	1.35V @ 60A	80	150	TO3P
TYN50W-1600T	1600	50	650	1.3V @ 50A	80	150	TO247
TYN80W-1600T	1600	80	850	1.47V @ 80A	80	150	TO247

表 1: 瑞能半导体 1200V - 1600V 高压可控硅系列以及关键参数概览

2. 高压可控硅应用举例

SCR 在功率变换电路中用作交流开关。和金属 - 氧化物 - 半导体 - 场效应晶体管 (MOSFETs) 不同, SCR 是一种半控开关, 即只可以通过门极控制其导通不可以控制其关断。当门极施加触发电流后, SCR 会发生闭锁 (Latch up) 进而导通, 移除门极触发电流后 SCR 仍然处于导通状态。当 SCR 的阳极电流降低到小于其保持电流后 SCR 进入关断状态。

除了不间断电源 (UPS), SCR 还广泛应用在固态继电器 (SSR), 能量存储, 电池充电和感性以及阻性负载控制电路中。下面以 UPS 为例介绍 SCR 的主要应用领域。图 2 给出在采用高压 SCR 的在线式 UPS 的拓扑图。为了确保在任何情况下对负载持续供电, 需要采用交流市电和直流电池组供电来避免交流市电断电后的不利影响。

作为功率开关, SCR 主要应用在 UPS 如下的功能模块中:

AC/DC 整流电路 (AC/DC Converter circuit):

在 AC/DC 转换桥式整流电路中, 主要包括二极管整流桥电路和 SCR 整流桥电路。桥式整流电路把交流输入正弦波电流转换为单向的正弦半波电流, 也即是俗称的“馒头波”。在现代的开关电源中, 为了确保电流的质量, 桥式整流电路后续的功率因子校正 (PFC) 电路会让输入正弦波电流跟随输入电压, 从而降低输入电流的相位畸变和谐波畸变。PFC 电路输出的直流母线电压经过后续的 DC/AC 逆变后输出纯净的电压供给负载。除此以外, 备用电池侧经过 DC/DC 变换后亦连接到直流母线上确保交流市电和备用电池都可以对输出侧供电。在该拓扑中, SCR 整流桥的可控性是市电 AC/DC 整流电路的最佳选择。图 3 给出 SCR 整流桥的典型波形。

电池充电电路 (Battery charging circuit):

在交流市电供电时电池电路处于关断状态。在市电断电异常情况下, 电池电路需要在 10ms 以内导通为输出侧供电。在该电路中, 电池侧的开关处在正向和反向的阻断状态下, 并且需要在门极控制信号的作用下快速的响应。除此以外, 优异的浪涌电流处理能力和长期可靠性也是确保系统安全工作的必备条件。和继电器相比, SCR 是一个更优的选择。瑞能半导体的 1200V-1600V SCR 是该电路的最佳选择。

旁路开关电路 (Bypass switch circuit):

静态的旁路开关电路主要为 UPS 正常工作时的冲击电流或者异常状态下提供额外的电流通路。另外, 旁路开关提供了维修时的隔离安全通道。由于输入交流市电和输出交流电源可能存在相位的不匹配, 因此旁路 SCR 导通瞬间可能流过很大的浪涌冲击电流。我们 1200V - 1600V 高压可控硅系列 I_{TSM} 值均为其额定平均电流 $I_{T(AV)}$ 的 10 倍以上, 确保 SCR 在开通瞬间具有高的浪涌电流承受能力。

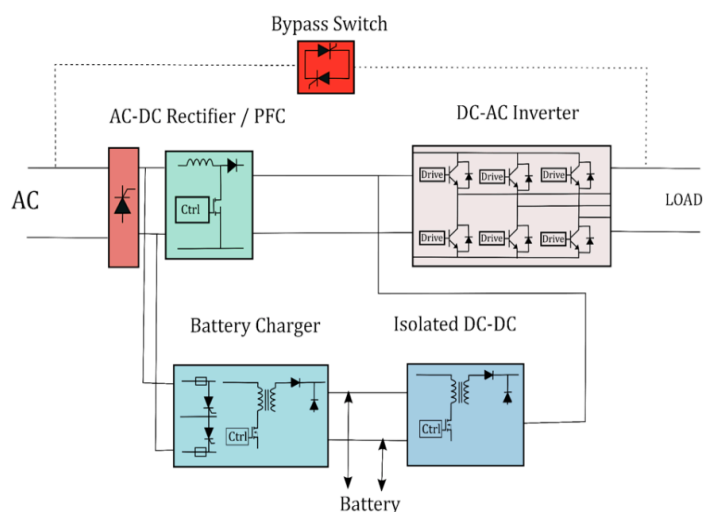


图 2: 采用高压 SCR 的在线式不间断电源的拓扑图

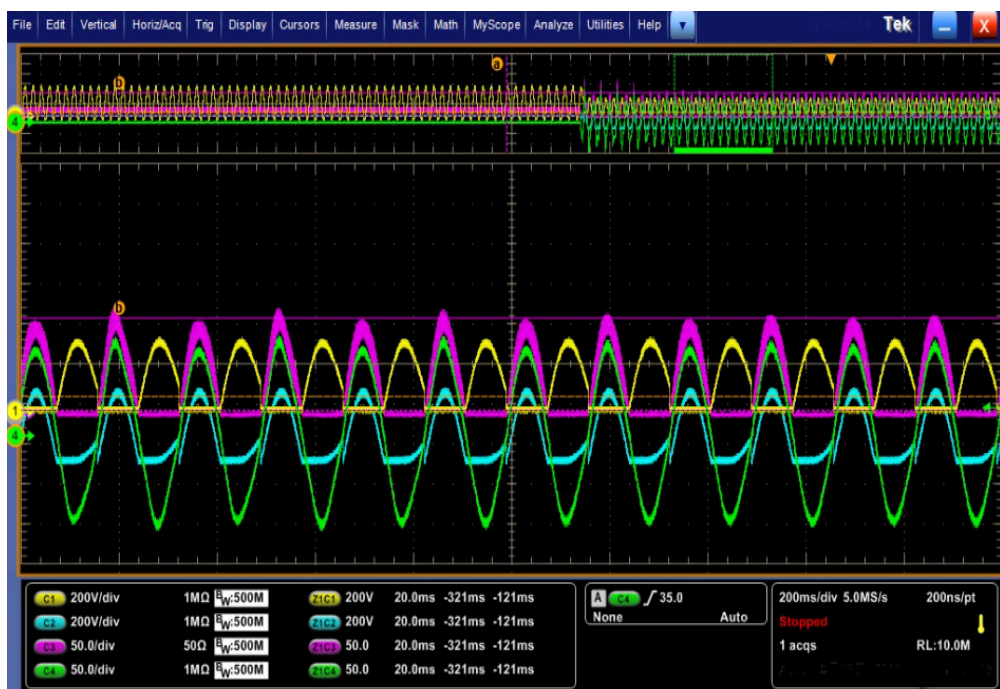


图 3: 不间断电源中 SCR 输入整流侧的典型波形
(粉色: SCR1 A-K 电流; 黄色: SCR1 A-K 电压;
绿色: AC 输入电流; 蓝色: SCR2 A-K 电压)

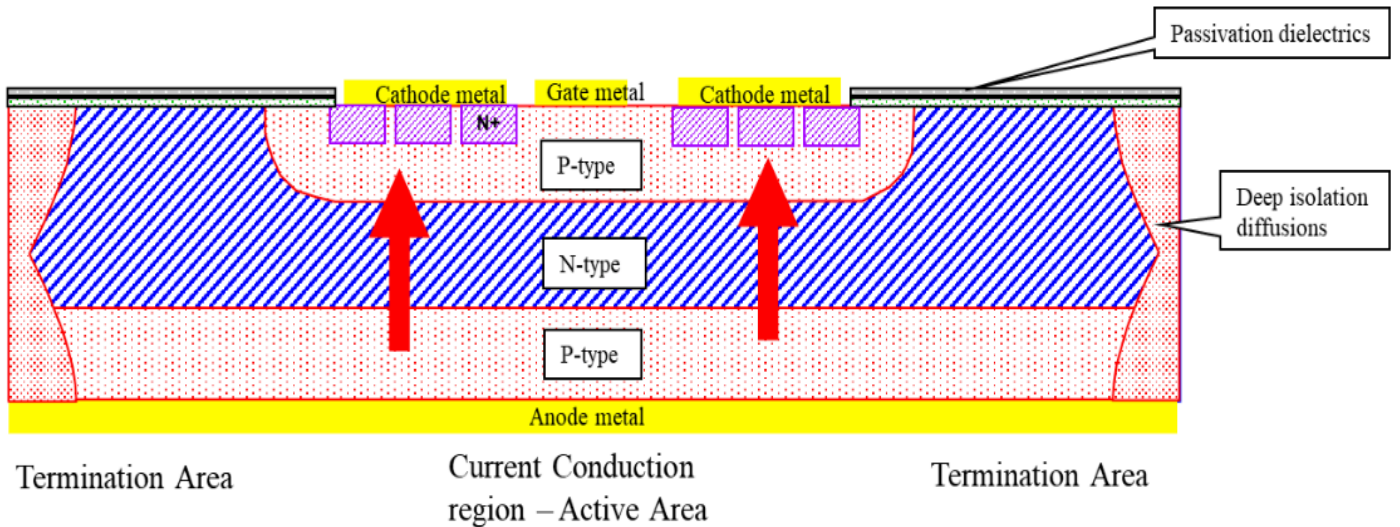


图 4：高压 SCR 的剖面示意图（图中同时给出有源区和终端区域示意图）

3. 高压可控硅技术概述

图 4 给出了高压 SCR 的剖面示意图，该 SCR 采用平面制程工艺制备。图中给出了导通电流的有源区（Active area with current conduction）和终端区域（Termination area）的示意图。有源区为在 Si 衬底形成的 P-N-P-N 四层结构。阳极电极金属在芯片的背面；阴极和门极电极金属分别形成在芯片正面的不同位置。当在门极施加电流触发导通后，SCR 的特性类似于二极管，其电流从阳极流到阴极。

在现代功率半导体器件设计中，通过选择 Si 衬底（一般为 N 型）的掺杂浓度和厚度可以获得期望的 PN 结击穿电压。然而，承受耐压的反偏 PN 结会在芯片的表面靠近芯片终端的区域终结。如果 PN 结的耗尽区域延伸到芯片的划片槽区域，会导致芯片的长期可靠性失效。SCR 为双向耐压器件，如果正面阳极侧的 PN 结耗尽区域扩展到背面的 PN 处就会导致穿通击穿。在这两种情况下，我们都需要在芯片正面采取恰当的钝化措施确保其长期的可靠性。

最常采用的终端区域钝化材料为热氧化的 SiO_2 。该 SiO_2 通过高温扩散的方式由 O_2 和表面的 Si 反应生成，其具有高的致密性和低的固定电荷。另一种替代的钝化层材料为半绝缘多晶硅（简称 SIPOS），SIPOS 是一种具有非常高电阻率的导体，其可以俘获电荷。被俘获的电荷在外加电场的作用下可以沿着 SIPOS 和 Si 的界面移动，并最终表现为器件在阻断状态下的泄露电流。瑞能半导体的 SCR 采用平面结构设计并采用 SIPOS 钝化层，因此具有更优的可靠性和长期稳定性。

和目前市场上流行的台面含铅玻璃钝化工艺相比，平面制程工艺是一种完全的无铅工艺，这是平面工艺的又一个优点。由于铅材料的 RoHS 豁免期限将于 2021 年 7 月份到期，因此采用平面制程工艺和无铅焊接的 SCR 可以完全满足后续的 RoHS 规范。

www.ween-semi.com/cn

Bodo's 功率系统 Bodo's Power Systems®

《Bodo's 功率系统》杂志是一本面向全国及海外的专业科技期刊，全面覆盖嵌入式电源、设计测量、电池、便携式电源、数字电源、设计与模拟、大功率开关、高压变换器、IGBT、热能管理等科技发展与应用。

为了满足广大读者的需求，为行业用户提供实用的应用案例，本刊特向业内的广大专家、教授、学者、工程技术人员求证稿件。感谢您能在百忙之中将您的观点、应用经验与大家分享。

所投稿件内容应有较高学术水平，语言流畅、逻辑关系明确，有新意。

投稿作者需提供详细的作者联系信息，如工作单位名称、电话、通讯地址、邮箱等，以便联系。

投稿邮箱 BPSC@i2i-m.com.cn，

投稿时，请在邮件主题栏注明“投稿”字样！